

Bio-Denitrification of the Nitrate Waste Solution from the Lagoon Sludge in a Batch Fermenter

회분식 발효조에서 미생물을 이용한 라군 슬러지 질산염 폐액의 탈질 공정 평가

Jong Hyeok Oh, O Mi Lee, Doo Seong Hwang, Yun Dong Choi, Sung Tae Hwang,
Byung Real Jo* and Jin Ho Park

Korea Atomic Energy Research Institute, 150 Duckjin-dong, Yuseong-gu, Daejeon, Korea

* Chungju National University, 123 Geomdan-ri, Iryu-myeon, Chungju, Chungbuk, 380-702 Korea

ex-jhoh@kaeri.re.kr

오종혁, 이오미, 황두성, 최윤동, 황성태, 조병렬*, 박진호

한국원자력연구소, 대전시 유성구 덕진동 150번지

* 충주대학교, 충북 충주시 이류면 검단리 123

(Received December 16, 2005 / Approved May 8, 2006)

Abstract

It is a serious task to the decommissioning of the uranium conversion plant that the demolition of the lagoon sludge. The main component of the sludge is ammonium nitrate and that is the very explosive material. Therefore, the bio-denitrification is a attractive process to remove the nitrate. In this work, some process variables was tested such as incubation temperature, nitrate concentration, electron donor, C/N ratio, seeding ratio, and pH with an anaerobic bacteria as *Pseudomonas halodenitrificans*. The results would be used as basic data to the continuous bio-denitrification process.

Key Words : bio-denitrification, *Pseudomonas halodenitrificans*, uranium conversion, nitrate, sludge

요 약

우라늄 변환시설 가동 중 발생하여 라군(lagoon)에 저장중인 방사성 슬러지 폐기물에 대한 처리는 시설 해체과정에서 매우 중요한 업무 중 하나이다. 슬러지 구성성분 중 다량을 차지하는

질산암모늄의 폭발 위험성 등으로 인해 미생물을 이용한 질산염의 분해는 질산염을 안정적으로 처리할 수 있는 효과적인 방법이라 할 수 있다. 본 연구에서는 라군 슬러지의 약 60 wt%를 차지하는 질산염을 혐기성 균주의 하나인 *Pseudomonas halodenitrificans*를 이용하여 탈질하기 위한 공정 변수에 대한 영향을 평가하였다. 온도, 질산염 농도, 전자공여체의 영향, C/N 비율, 초기 집종하는 균주의 비율, pH 등의 공정변수에 대하여 실험한 이번 결과는 향후 연속식 공정 설계를 위한 기초 자료로 사용될 것이다.

중심단어 : bio-denitrification, *Pseudomonas halodenitrificans*, uranium conversion, nitrate, sludge

I. 서론

한국원자력연구소 내의 우라늄 변환시설은 중수로용 UO_2 분말 제조를 위하여 100 t- UO_2 /년의 생산 규모로서 1982년 준공되었으며, 본 시설을 운영함으로써 경수로용 UO_2 분말 제조기술을 확립하게 되었다. 이 기술을 바탕으로 한전원자력연료(주)에 200 t- UO_2 /년 규모의 상용공정을 건설함으로써 경수로용 우라늄 분말 국산화에 성공하였다[1]. 이에 따라 본 변환시설은 본래의 목적인 핵연료 국산화 기술을 완전 이룩하여 소기의 목적을 달성하였으나, pilot 규모인 년 100 t의 규모로는 지속적인 핵연료 생산시설로서의 경제성이 없으므로 1993년 시설의 휴지신고를 완료하였고, 화학처리공정의 특성상 부식이 매우 심한 설비임에도 불구하고 출입을 제한한 상태로 단순 보관되고 있어 방사성 오염물질의 누출 위험이 항상 존재하므로[2], 2001년부터 제염해체를 통한 변환시설 환경복원사업을 시작하게 되었다.

변환시설 공정의 운전 중 발생하여 라군(lagoon)에 저장되어 있는 방사성 슬러지 폐액의 처리는 시설의 해체과정에서 매우 중요한 업무 중 하나이다. 라군은 운전 중에 발생한 모든 폐액을 수집하기 위한 인공 연못으로, 변환시설 옆에 위치해 있으며 두 개로 구성되어 있고, 저장된 슬러지의 총 양은 약 250 m^3 이다. 슬러지의 상층은 함유물의 포화용액, 중간층은 결정형, 하층은 입자상 형태의 세층으로 이루어져 있다. 그 주성분은 NH_4NO_3 , $NaNO_3$, $Ca(NO_3)_2$, $CaCO_3$ 및 U 등이며[3, Table 1에 보이는 것과 같이, 이들 주성분 중 질산염이 차지하는 비율은 약 60 wt% 정도이다.

질산염의 제거를 위한 공정은 열분해, 전기분해, 미생물을 이용한 분해 등 여러 가지가 제안되고 있으나, 그중 미생물을 이용한 공정이 안정성 및 경제성의 측면에서 매력적인 공정이라 할 수 있다. 그러나 살아있는 생명체를 다루는 공정임에 따라 고농도의 질산염을 처리하는 것은 무리이며, 적절한 농도까지 희석해야 하는 것이 가장 큰 단점이라고 할 수

Table 1. Chemical compositions of the lagoon sludge

| | | wt% | NH_4NO_3 wt% | $NaNO_3$ wt% | $Ca(NO_3)_2$ wt% | $CaCO_3$ wt% | U ppm |
|----------|--------|-------|-------------------|-----------------|---------------------|-----------------|----------|
| Lagoon 1 | upper | 19.62 | 61.86 | 28.43 | 2.07 | - | 10 |
| | middle | 17.16 | 68.81 | 25.30 | 0.30 | - | 586 |
| | bottom | 63.21 | 53.04 | 17.98 | 9.53 | - | 20300 |
| Lagoon 2 | upper | 15.38 | 79.84 | 13.82 | 1.77 | - | <0.5 |
| | middle | 47.19 | 90.31 | 0.31 | 0.93 | - | 8 |
| | bottom | 37.42 | 20.17 | 3.14 | 18.94 | 38.11 | 305 |

Total sludge = 250 m^3 / 460 ton

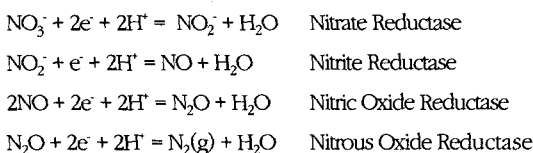
Total NO_3^- = 60 wt% (150 m^3 / 270 ton)

있다. 실제 적용되고 있는 미생물을 이용한 질산염의 분해는 NO₃⁻-N의 농도가 50 g/m³ 이하의 하수나 농업용수 내에 함유된 nitrate 제거에 집중되어 있었다. 1974년 ORNL에서 우라늄 정제공정에서 발생한 폐액에 함유된 고농도(1.0 kg NO₃⁻-N/m³)의 nitrate를 제거하기 위하여 생물학적 탈질공정을 선정하고 시험을 시작한 이래로 stirred bed reactor 형의 대규모 처리시설이 Y-12 plant에 설치 운영되고 있으나 110,000 ppm 정도의 고농도 질산염 폐액의 처리를 위해서 100 ppm 이하로 희석하여야 할 정도로[4,5], 고농도의 폐액을 처리할 수 있는 균주의 개발 및 공정의 최적화가 필요하다. 본 연구에서는 프랑스 Cadarache에서 분리 및 동정된 균주 *Pseudomonas halodenitrificans*를 이용하여 라군 슬러지에 포함된 질산염 폐액의 탈질 가능성 평가 및 공정 최적화에 대하여 연구하였다.

II. 재료 및 방법

가. 탈질 경로

탈질은 이화작용에 의하여 NO₃⁻ 또는 NO₂⁻를 N₂ 가스로 환원시키는 것이다. 즉, NO₃⁻ 또는 NO₂⁻는 에너지 생산을 위한 전자수용체로 사용된다. 탈질은 산소호흡과 질소호흡을 쉽게 오갈 수 있는 다수의 종속 영양균 및 독립 영양균에 의해 수행되는데 대부분 *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Paracoccus* 그리고 *Thiobacillus*와 같이 그람음성 Proteobacteria에 속하는 미생물이다. 탈질은 질산염(NO₃⁻)이 아질산염(NO₂⁻), 산화질소(NO), 아산화질소(N₂O), 그리고 N₂ 가스의 순서로 환원된다. 각 반쪽반응식 및 관련된 효소는 다음과 같다.[6]



나. 분해배지

탈질균의 배양이 가능한 질산염 농도의 평가를 위

해 모의폐액(NH₄NO₃ 배지)에서 예비실험을 실시하였으며, *P. halodenitrificans*는 0.2 M NO₃⁻에서 가장 효과적인 배양결과를 나타내었다. 따라서 탈질균 *P. halodenitrificans*는 0.2 M NH₄NO₃(12400 mg/L NO₃⁻ = 2800 mg/L NO₃⁻-N) 액체배지에서 배양하였으며, Table 2에 배지 조성을 나타내었다. 전자 공여체로는 아세트산을 사용하였고, pH 조절은 50 %의 NaOH를 이용하였다.

실제 라군 슬러지 폐액의 탈질실험에 사용된 배지는 라군 슬러지 각 층의 비율대로 혼합하고 2.5배의 물을 첨가하여 질산염을 용해시키고, 고-액 분리하여 여액을 필요 농도까지 희석하였다. 고-액 분리된 여액 중 각 성분의 농도는 Table 3에 나타내었으며, 질산염의 경우 약 174000 mg/L NO₃⁻의 농도를 보였다. 미생물이 대사과정에 사용하지 않는 성분뿐만 아니

Table 2. 0.2 M NH₄NO₃ medium and micronutrient for seed culture

| | component | amount | |
|---|---|--------|------------|
| | | | |
| medium | NH ₄ NO ₃ | 16 | g (0.2 M) |
| | MgSO ₄ | 0.967 | g |
| | KH ₂ PO ₄ | 0.853 | g |
| | FeSO ₄ | 2.667 | mg |
| | CuSO ₄ | 0.133 | mg |
| | CH ₃ COOH | 12 | ml (0.2 M) |
| | pH | 6~7 | |
| micronutrient (dissolution in 1 l water and add 1 ml to medium) | H ₃ BO ₃ | 100 | mg |
| | MnSO ₄ | 100 | mg |
| | ZnSO ₄ | 100 | mg |
| | Mo ₇ O ₂₄ (NH ₄) ₆ | 1000 | mg |
| | Co(NO ₃) ₂ | 100 | mg |

Table 3. Chemical composition of the original nitrate waste solution and diluted medium

| | original solution (mg/L) | diluted medium to 0.2 M NO ₃ ⁻ (mg/L) |
|------------------------------|-----------------------------|--|
| NO ₃ ⁻ | 174,000 | 12,400 |
| NH ₄ ⁺ | 34,000 | 2,423 |
| Ca | 1,600 | 114 |
| Na | 13,000 | 926 |
| U | 95 | 7 |

Ca and U : ICP-AES
Na : AAS
NO₃⁻ : IC
NH₄⁺ : UV

라, 대사과정에 필요한 기질이라 할지라도(본 연구의 경우 NO_3^-), 고농도의 기질은 그 자체로 독성으로 작용할 수 있다. 따라서 예비실험을 통해 얻은 *P. halodenitrificans*의 배양에 적당한 $12400 \text{ mg/L NO}_3^-$ ($2800 \text{ mg/L NO}_3^-\text{-N}$)의 농도까지는 라군 슬러지 질산염 폐액을 약 14배 희석하여 사용하였다. 희석된 이후의 농도도 역시 Table 3에 함께 나타내었다.

다. 실험방법

0.2 M NH_4NO_3 액체배지에서 배양 중인 균주의 성장곡선을 평가하여 대수성장기의 균주를 선택하고 이를 냉장 보관하였으며, 필요시 동일 균주를 사용하여 실제 공정변수에 대한 비교 실험을 수행하였다. 실제 처리공정의 설계를 위해 필요한 공정변수인 배양온도, 초기 질산염의 농도, 전자공여체의 종류, C/N(carbon/nitrate) 비율, pH 등의 종류별로 비교군을 선정하여 실험하였다. 실험에 사용한 배양기의 구성은 Figure 1에 나타내었다. 반응기는 1 l의 용적을 갖는 2중 자켓 형태의 배양기를 제작하였고, working volume은 500 ml로 하였다. 균주와 배지의 완전혼합을 위해 magnetic stirrer를 이용하여 교반하였다. 비교실험에 사용되는 균주의 동일 활성을 위하여 비교군의 실험을 동시에 실시하였고, 필요한 만큼의 반응기를 직렬로 연결하였다. 4개의 반응기를 직렬 연결하였을 때, 양쪽 끝의 반응기 사이의 온도편차는 약 $0.2 \text{ }^\circ\text{C}$ 정도로 측정되어 무시할 수 있었다.

미생물 개체수를 의미하는 O.D.(optical density)는 Perkin Elmer사의 Lamda 2 UV/VIS spectrophotometer

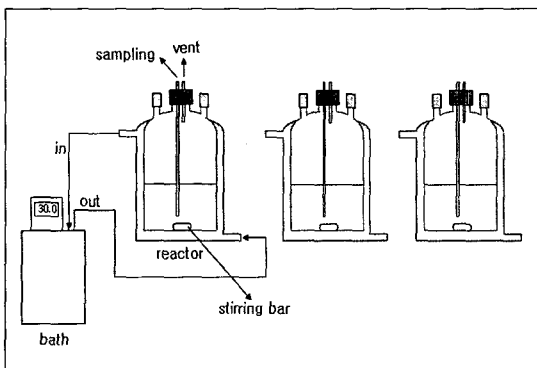


Figure 1. Experimental set-up for bio-denitrification.

로 650 nm 의 파장에서 분석하였고, pH는 Orion사의 EA 940 pH meter, 잔류하는 질산염의 농도는 Hach사의 DR-4000 spectrophotometer로 정량하였다.

III. 결과 및 고찰

가. 배양온도의 영향

배양 온도에 따른 탈질특성에 대하여 실험한 결과를 Figure 2에 나타내었다. 25, 30, 40 $^\circ\text{C}$ 에서 균주를 배양할 때, optical density(O.D.), pH, 질산염 농도를 측정하였다. 그림에서 알 수 있듯이 40 $^\circ\text{C}$ 배양의 경우 균주의 증식이 거의 일어나지 않았고, 따라서 질산염의 분해도 일어나지 않는 것으로 나타났다. 25 $^\circ\text{C}$ 의 경우 30 $^\circ\text{C}$ 와 비교하여 반응 초기에는 큰 차이가 없었지만 36시간 이후 분해속도가 현저하게 떨어져, 결국 최종 분해까지 약 24시간정도 느리게 분해되는 것으로 나타났다. 이를 통해 *P. halodenitrificans*를 이용한 질산염의 분해는 30 $^\circ\text{C}$ 가 가장 적당한 것으로 판단하였다.

나. 초기 질산염 농도의 영향

질산염의 초기농도를 0.1 M, 0.2 M, 0.3 M로 변화시켜가며 질산염 농도에 대한 영향을 살펴보았다. Figure 3에 보인 것과 같이 초기 농도 0.1 M- NO_3^- 의 배지에서 질산염 제거가 더 빠르긴 했지만, 분해되는 질산염의 총량을 고려한다면 0.2 M- NO_3^- 농도의 질산염을 제거하는 것이 더 효과적임을 알 수 있었다. 0.3 M- NO_3^- 농도의 질산염 용액의 경우 고농도의

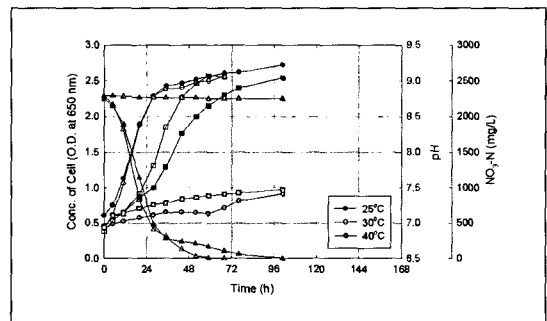


Figure 2. Incubation in lagoon waste solution at different temperature. (nitrate = 0.2 M, C/N = 1.0, seeding = 10 %, ○;O.D., □;pH, △; nitrate concentration)

질산염으로 인한 저해효과가 발생하여 균주의 배양에 영향을 미치는 것으로 보인다. 따라서 질산염 제거를 위한 *P. halodenitrificans*의 배양에서 배지의 질산염 농도는 0.2 M-NO₃⁻(2800 mg/L NO₃⁻-N)이 가장 적당하다.

다. 전자공여체의 영향

종속 영양균은 거의 모든 유기물을 기질로 사용할 수 있지만 몇가지 간단한 기질만이 중점적으로 연구되어 왔다. 특히, 메탄올, 아세트산, 글루코스, 에탄올 등 다량으로 쉽게 구할 수 있는 물질들이 평가되었다. [6] 메탄올은 비교적 값이 저렴하기 때문에 널리 사용되어왔고 많은 자료가 축적되어있지만, 이 결과를 모든 균주에 적용할 수는 없다. 따라서 본 연구에서는 메탄올, 에탄올, 아세트산 세 종류의 전자공여체를 사용하여 탈질 특성을 알아보고 그 결과를 Figure 4에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 메탄올의 경우 균주의 배양이 거의 일어나지 않는 경향을 보였다. 이는 일반적으로 가장 쉽게 적용되며, 가장 많은 자료가 축적된 메탄올은 *P. halodenitrificans*의 배양에 전자공여체로 사용될 수 없음을 의미한다. 에탄올과 아세트산의 경우 각각 100, 84 시간이 경과된 후 질산염의 분해가 완료되는 것으로 나타났다. 질산염 분해 측면에서는 아세트산이 가장 효과적이었으나, 비용의 면을 고려한다면 에탄올을 전자공여체로 사용하는 것도 고려해볼만한 것으로 판단된다.

일반적으로 탈질은 유기물의 함유량에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있고, C/N 비가 작은 경우 질

소를 제거하기 위하여 유기물을 추가해줘야 원활한 탈질성능을 얻을 수 있다. [7] 또한 유기물의 양이 최적의 값보다 많을 경우 최적의 값에서 배양된 결과와 비교할 때, 오히려 유기물의 저해효과를 보이는 경우가 대부분이다. 본 연구에서는 앞서 살펴본 세 종류의 전자공여체 중 가장 빠른 탈질효율을 보인 아세트산을 이용하여, 초기 C/N 비(mole ratio) 0.5, 1.0, 1.5에서 탈질성능을 평가해 보았다. 분해가 진행되는 동안 유기물의 잔류량을 측정하는 방법 대신에, 실제 처리를 위한 라군 슬러지 질산염 용액을 이용한 배지의 제조 시 질산염과 아세트산의 몰 비를 0.5, 1.0, 1.5가 되도록 제조하고, 균주의 배양 특성을 살펴보았다. 이 결과를 Figure 5에 나타내었다. C/N 비 0.5에서는 초기에 빠른 분해속도를 보이다가 36시간이 지나면서 질산염의 분해가 거의 일어나지 않는 것으로 나타났다. 이는 배양이 진행됨에 따라 유기물(전자 공여체)이 고갈되고, 전달되는 전자의 소진으로

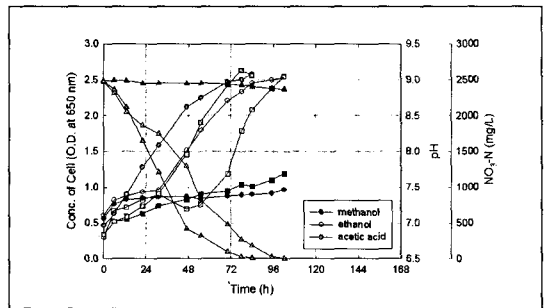


Figure 4. Incubation in lagoon waste solution at different electron donor. (temperature = 30 °C, nitrate = 0.2 M, C/N = 1.0, seeding ratio = 10 %, ○;O.D., □;pH, △; nitrate concentration)

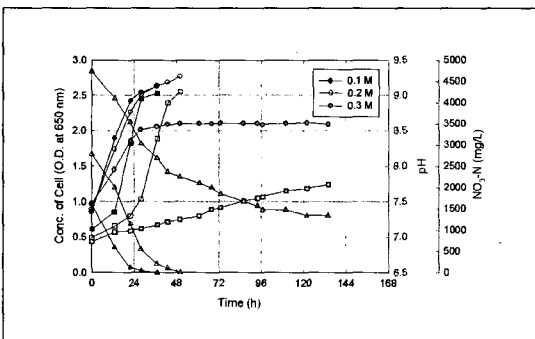


Figure 3. Incubation in lagoon waste solution at different nitrate concentration. (temperature = 30 °C, C/N = 1.0, seeding = 10 %, ○;O.D., □;pH, △; nitrate concentration)

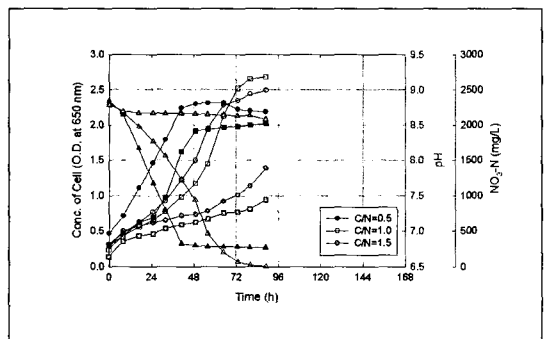


Figure 5. Incubation in lagoon waste solution at different C/N ratio. (temperature = 30 °C, nitrate = 0.2 M, seeding = 10 %, ○;O.D., □;pH, △; nitrate concentration)

인해 더 이상의 분해가 일어나지 않는 것으로 해석할 수 있다. C/N 비 1.5에서는 상대적 고농도로 첨가된 유기물의 저해효과로 약 72시간이 지날 때까지 배양 속도가 억제되다가 저해효과를 보이지 않는 농도까지 감소한 이후 약간의 증가를 보이는 것으로 판단되지만, C/N 비 1.0에 비하면 효율은 월등히 떨어지는 것을 알 수 있다. 따라서 탈질에 필요한 유기물의 비율은 C/N 비 1.0이 가장 적당하다.

라. 초기 접종량의 영향

대부분의 미생물 배양에서 초기 접종량은 또한 중요한 변수 중의 하나이며, 접종된 미생물의 양에 따라 질산염의 분해 속도가 좌우될 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 초기 미생물의 접종량을 5, 10, 15 % (v/v%)로 제한하여 질산염의 탈질성능을 평가하였고, Figure 6에 결과를 도시하였다. 0.2 M-NO₃로 고정된 질산염 폐액에 각각 5, 10 15%의 균주를 접종하였을 때, 균주의 농도가 가장 높았던 15%의 균주 접종시 약 48시간 이후에 질산염의 완전 분해가 이루어졌다. 5%와 10%의 균주를 접종하였을 경우, 전체적인 질산염의 분해속도는 10%에서 우수했지만, 5%의 균주를 접종하였을 때 반응이 진행되면서 증식된 균주의 개체수로 인해 최종 분해까지는 10%의 접종량과 큰 차이를 보이지는 않았다. 균주의 접종량은 공정의 운전비에 큰 영향을 미치지 않으므로 라군 슬러지 질산염 폐액의 분해를 위해 15% 균주를 접종하는 것이 가장 효과적이라 할 수 있다.

마. pH의 영향

탈질균은 pH에 민감하지는 않지만, pH가 적정범위인 7~8을 벗어나면 중간생성물이 축적될 수 있다. 균주를 배양할 라군 슬러지 질산염 배지의 pH를 5, 6, 7로 맞추어 제조하고, NH₄NO₃ 배지에서 배양된 동일 균주를 10 v/v% 접종하였을 때, 질산염 폐액의 탈질 성능을 평가하였고, 이를 Figure 7에 나타내었다. 접종 후 시작점에서의 pH는 각각 5.41, 6.47, 7.46 이었다. pH가 5인 배지에서의 탈질은 그림에 보듯이 거의 일어나지 않았으며, pH 7 배지에서 약 40시간에서 질산염의 완전 분해가 이루어졌다. 탈질

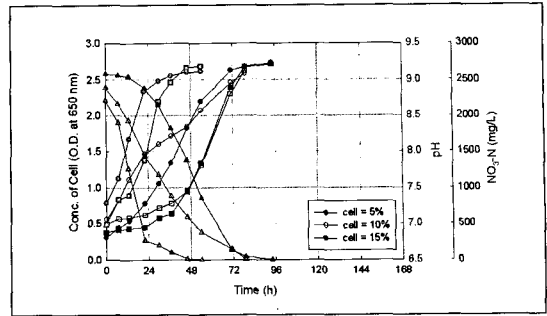


Figure 6. Incubation in lagoon waste solution at different seeding ratio. (temperature = 30 °C, nitrate = 0.2 M, C/N = 1.0, ○;O.D., □;pH, △; nitrate concentration)

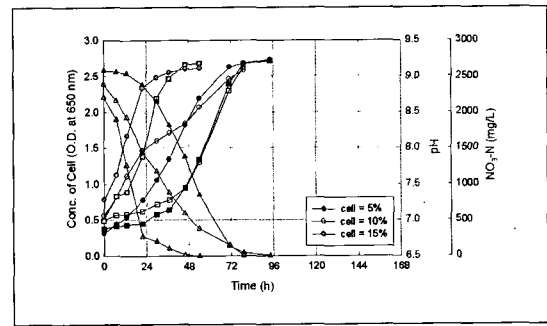


Figure 7. Incubation in lagoon waste solution at different initial pH. (temperature = 30 °C, nitrate = 0.2 M, C/N = 1.0, seeding ratio = 10 %, ○;O.D., □;pH, △; nitrate concentration)

이 진행되면서 pH는 증가하고 있는데, pH 9 정도까지 증가된 pH의 영향으로 탈질의 효율이 떨어질 것으로 평가하여 이전의 실험에서 배지의 pH는 6으로 고정하여 실험하였다. 그러나 pH 8~8.5 정도의 범위에서 균주의 대수성장기가 관찰되었고, pH 6과 pH 7 배지의 비교를 통해 pH 7에서 시작하는 것이 더 빠른 비성장속도를 보이는 것을 알 수 있었다. 실제 처리공정에서는 지금까지의 실험에서 보여진 것과 같이 회분식으로 진행하지 않고 연속식 공정으로 설계되어야 하므로, 초기 배지의 pH는 7로 시작하고, 배양의 진행중 대수성장기의 pH를 유지하는 것이 효과적이라 할 수 있다.

VI. 결론

본 연구에서는 라군 슬러지 질산염 폐액의 미생물을 이용한 탈질 공정설계를 위한 최적 공정변수의 수

집을 목적으로, 회분식 반응기에서 *Pseudomonas halodenitrificans*를 이용한 탈질을 수행하였다. 배양 온도는 30 °C, 질산염의 농도는 0.2 M-NO₃⁻, 전자공여체는 아세트산을 사용하고, C/N 비율은 1.0, 초기 집종하는 균주의 양은 15 %, 초기 배지의 pH는 7에서 시작하는 것이 가장 효과적인 생물학적 탈질 성능을 얻을 수 있었다. 실제 공정의 설계는 회분식이 아닌 연속식 공정으로 이루어져야 할 것이며, 회분식 배양에서의 결과를 바탕으로 연속식 공정에서 최대의 효과를 얻을 수 있는 기질의 주입속도, 적정 pH의 유지 방법, 탈질 생성물의 처리방법 등에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] I. S. Chang, J. H. Park, E. H. Kim, J. J. Park, T. J. Kim, W. M. Jung, K. C. Jung, and J. H. Choi, Development of Nuclear Fuel: Improvement of Reconversion Process for Nuclear Fuel, Rep. KAERI/RR-1005/90 (1991).
- [2] S. T. Hwang, Y. D. Choi, S. W. Kwon, B. H. Kim, and J. Y. Jeong, The Management and Maintenance of HWR Nuclear Fuel Conversion Facility, Rep. KAERI/MR-286/96 (1996).
- [3] J. H. Park, D. S. Hwang, Y. D. Choi, K. I. Lee, S. T. Hwang, and K. J. Jung, Analysis of Lagoon Sludge Characteristics for Choice of Treatment Process, Rep. KAERI/TR-2138/2002 (2002).
- [4] F. E. Clark, C. W. Francis, H. C. Francke, and J. W. Strohecker, Denitrification of Acid Wastes from Uranium Purification Processes, Rep. No. Y-1990, Oak Ridge Y-12 Plant, Oak Ridge, Tennessee (1975).
- [5] C. W. Francis and M. W. Callahan, Biological Denitrification and Its Application in Treatment of High-Nitrate Wastewater, J. Environmental Quality 4, pp. 153- (1975).
- [6] B. E. Rittmann and P. L. McCarty,

Environmental Biotechnology : Principles and Applications, McGraw-Hill, New York (2002)

- [7] Y. J. Kim, Y. C. Song; J. O. Kim and H. S. Park, Isolation and Culture Conditions of a *Pseudomonas* Strain Capable of Removing NH₄⁺ and NO₃⁻ Simultaneously in Anaerobic Conditions, Kor. J. Microbiol. Biotechnol., 33, pp. 65-69 (2005)